

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Российская академия наук
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского
Научно-исследовательский институт радиационной медицины и экологии
Медицинского университета Семей Республика Казахстан
Университет Париж-Сакле, Франция
Университет Сорбона, Франция



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

МАТЕРИАЛЫ
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 1

20–24 сентября 2021 г.

Томск 2021

УДК 539.16+577.346:574(063)
ББК 22.383+28.707.1л0
P15

Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека :
P15 материалы VI Международной конференции (Томск, 20–24 сентября 2021 г.). В 2 томах.
Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического
университета, 2021. – 671 с.

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)
ISBN 978-5-4387-1025-7

В сборнике докладов конференции обсуждаются актуальные проблемы, связанные с явлением радиоактивности, распространением естественных и техногенных радионуклидов в различных природных средах. Приводятся данные по радиоэкологическому состоянию отдельных территорий, методам анализа радионуклидов. Освещаются вопросы влияния радиоактивности и радиоактивных элементов на биоту и человека, проблемы оценки дозовых нагрузок.

Сборник представляет интерес для геологов, геохимиков, биологов, медиков, экологов и других специалистов, интересующихся проблемами радиогеологии, радиогеохимии, радиоэкологии.

УДК 539.16+577.346:574(063)
ББК 22.383+28.707.1л0

Редакционная коллегия

Е. Г. Язиков, докт. геол.-мин. наук, профессор
(главный редактор)
С. И. Арбузов, докт. геол.-мин. наук, профессор
Н. В. Барановская, докт. биол. наук, профессор
В. А. Домаренко, канд. геол.-мин. наук, профессор
А. А. Поцелуев, докт. геол.-мин. наук, профессор
О. Г. Савичев, докт. геогр. наук, профессор
Л. М. Болсуновская, канд. фил. Наук
Б. Р. Соктоев, канд. геол.-мин. наук,
В. В. Жуков, тех. секретарь

Рецензенты

А. М. Адам, докт. тех. наук, профессор
А. В. Мананков, докт. геол.-мин. наук, профессор
Н. Н. Ильинских, докт. биол. наук, профессор

Editorial Board

E. G. Yazikov, Professor (Editor-in-Chief)
S. I. Arbuzov, Professor
N. V. Baranovskaya, Professor
V. A. Domarenko, PhD
A. A. Pozeluev, Professor
O. G. Savichev, Professor
L. M. Bolsunovskaya, PhD
B. R. Soktoev, PhD
V. V. Zhukov, Secretary

Reviewers

A. M. Adam, Dr. tech. sci., professor
A. V. Manankov, Dr. geol.-mineral. sci., professor
N. N. Ilyinskikh, Dr. biol. sci., professor

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)
ISBN 978-5-4387-1025-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2021
© Оформление. Отделение геологии ИШПР ТПУ, 2021

РОЛЬ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ф. Д. Лазарев, П. В. Кирплук, А. Н. Онищенко, Р. А. Леденгский

Норильский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ»

Норильск, Россия, lazarevfd@yandex.ru, kirpluk_pv@mail.ru, norandr2012@gmail.com, ledengskiyra@yandex.ru

THE ROLE OF GAVVA-SPECTROMETRY IN GEOLOGICAL MAPPING AND MINERAL EXPLORATION

F. D. Lazarev, P. V. Kirpluk, A. N. Onischenko, R. A. Ledengskiy

Norilsk branch of the FSBI «VSEGEI»

Norilsk, Russia, lazarevfd@yandex.ru, kirpluk_pv@mail.ru, norandr2012@gmail.com, ledengskiyra@yandex.ru

The article shows the leading role of gamma-spectrometry in geological mapping and mineral exploration, on the example of a factual material obtained as a result of an integrated airborne geophysical survey at a scale of 1 : 50 000, on the Rassoshinskaya area (The Sakha Republic (Yakutia)).

The methodical approach of prediction bases on a model of the radiogeochemical zonality of copper-porphyry systems, which is indicated in the fine structure of gamma-spectrometric fields.

Норильский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», являющийся структурным подразделением института, осуществляет полный комплекс современных аэрогеофизических работ и принимает непосредственное участие в создании комплектов Госгеолкарты-200 второго поколения. Со-временное аэрогамма-спектрометрическое оборудование, методические приемы производства полевых работ, программное обеспечение и разработанные методики обработки и интерпретации полевых материалов приводят к существенному обновлению геологических карт, выделению новых структур и перспективных объектов. Именно поэтому современная геофизическая основа (ГФО-200) обладает совершенно новой и уникальной первичной геологической информацией, способствующей более глубокому и качественному изучению геологического строения территорий и объективному выделению перспективных объектов.

В работе [4] на примере фактического материала, полученного в результате комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1:50 000 выполненной, в рамках Государственной программы регионального изучения недр по дополнительному геологическому изучению ранее заснятых площадей масштаба 1 : 200 000 (ГДП-200), на Рассошинской площади (республика Саха (Якутия), показаны современные возможности геофизических методов при решении задач геологического картирования и методический подход прогнозирования структур медно-порфирового типа, основанный на пространственной связи между развитием площадных метасоматических изменений и радиогеохимической специализацией горных пород.

Съемка выполнялась на легком вертолете Eurocopter AS350-B3, на котором были смонтированы аэрогамма-спектрометр RS-500 (RSX-4) с объемом

детектора 32 л, аэромагнитометр ГТ-МАГ с частотой регистрации 100 Гц, а также внефюзеляжное устройство – «носовой стингер» – для крепления магнитометрического датчика Cs-3, радиовысотомера TRA-3500 и нави-гационных антенн на базе приемников «NovAtel OEMStar».

Обработка аэрогеофизического материала была выполнена с применением программного комплекса Oasis Montaj, при этом гамма-спектрометрические данные обрабатывались по методике МАГАТЭ. В результате получен материал высокого качества, в т. ч., суммарная мощность экспозиционной дозы, содержания урана, тория, калия и аномальное магнитное поле.

В структурно-тектоническом отношении, изучаемая площадь расположена на сочленении Омудевского антиклинория и Арга-Тасского аккреционного блока. Это сложно построенная структура, характеризующаяся многоярусным строением, многообразием слагающих ее полифациальных комплексов, широким развитием чешуйчатых надвигов. Восточная часть площади перекрыта современными отложениями Зырянской впадины. В пределах площади размещаются небольшие штоки гранитоидов, наиболее крупным из которых является Рассошинский интрузив поздне-юрского возраста.

Гамма-спектрометрические поля Рассошинской площади отличаются высокой контрастностью и информативностью. Более 70 % ее площади выполнено геологическими образованиями разной степени радиоактивности, на фоне которых не радиоактивные участки тоже достаточно хорошо сопоставляются с геологическими телами (Рис. 1).

В результате районирования на основе комплекса геофизических полей, в т. ч. суммарной мощности дозы гамма-излучения и трансформант потенциаль-

ных полей получена карта весьма точно отражающая структурно-тектоническое строение изучаемой территории и положение основных геологических образований.

Последующий анализ АГСМ-данных на базе корреляционных методов преобразования (алгоритм АРК) позволил локализовать участки с аномальными концентрациями ЕРЭ, обусловленными породными особенностями и наложенными процессами, а также определить радиогеохимическую зональность и специализацию геологических образований (рис. 3-а). Наиболее контрастно зональность проявляется в гамма-эквивалентах концентраций естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) на основе оценки вклада каждого элемента (уран, торий, калий) в общую гамма-активность горных пород. Ее суть заключается в том, что каждый из фиксируемых радиоактивных элементов имеет свой гамма-эквивалент, то есть мощность экспозиционной дозы, образованной одной единицей содержания. Значение гамма-эквивалента соответствует мощности дозы от единицы

содержания радионуклида на высоте 1 м от излучающей поверхности и зависит от условия насыщенного полупространства [6].

Комплексная интерпретация полученных в результате аэрогеофизической съемки физических полей основана на сопоставлении последних с имеющимися геологическими данными и установлении определенных связей между особенностями геологического строения изучаемой территории и характером рассматриваемых полей. Помимо решения традиционных вопросов о тектоническом строении территории, составлена геологическая схема, отражающая достаточно детальное формационное строение площади (рис. 3-б).

Основные результаты комплексной интерпретации геофизических данных Рассошинской площади сводятся к следующему:

1. Особенности геологического строения нашли закономерное отражение во всех геофизических полях, но наиболее информативными являются АГСМ-данные.
2. Вулканогенно-осадочные образования разделяются на стратиграфические таксоны:

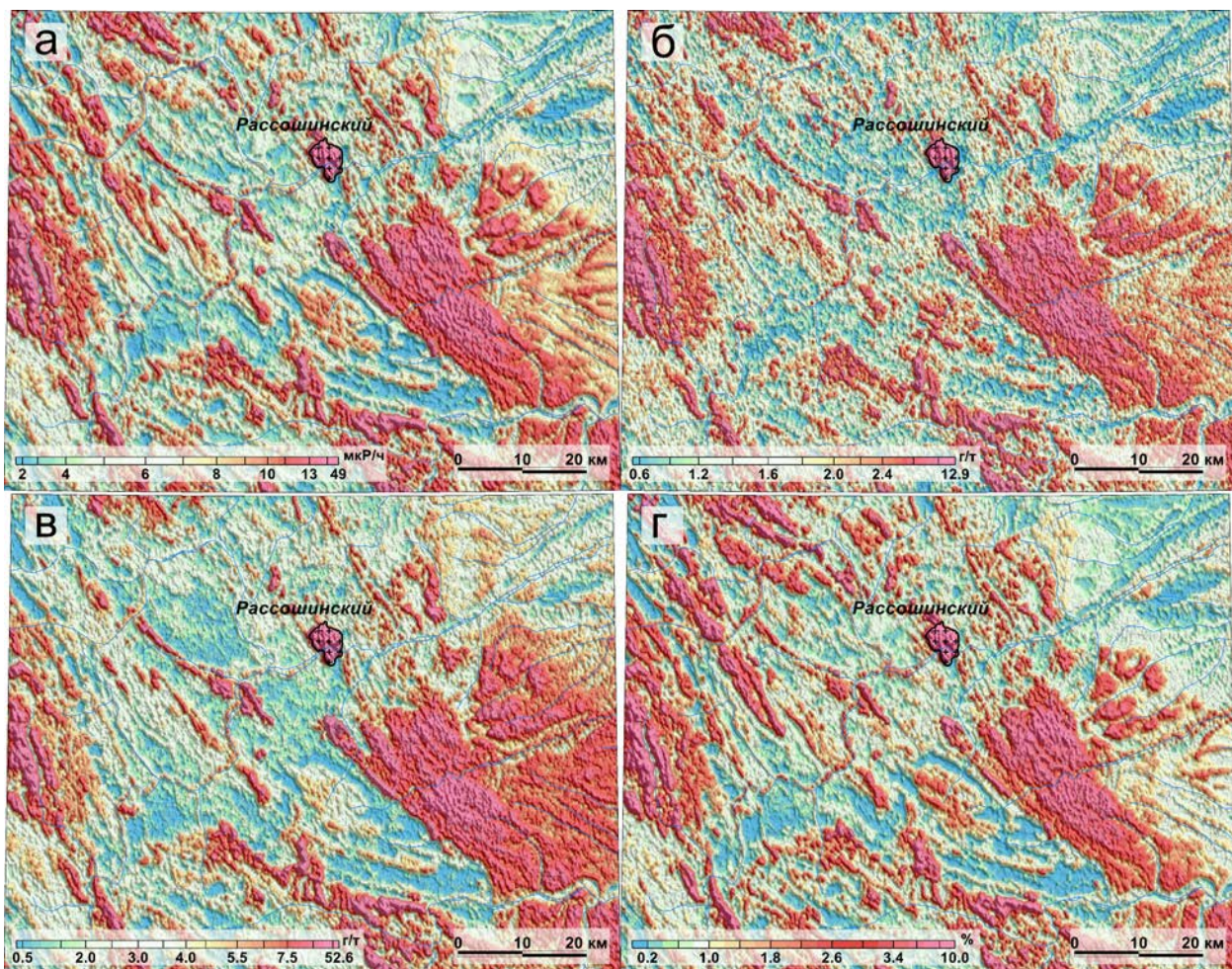


Рис. 1. Карты гамма-спектрометрических полей (Рассошинская площадь)
а) суммарная мощность экспозиционной дозы; содержания ЕРЭ; б) урана; в) тория; г) калия.

- верхнеюрская или иньтасская свита характеризуется высокими содержаниями всех трех ЕРЭ (до 25 мкР/ч) с уран-ториевой и калий-ториевой специализацией пород;
- нижнепалеозойские отложения отличаются повышенной радиоактивностью (15–20 мкР/ч) и существенно калиевой специализацией пород;
- для верхнепалеозойских образований характерны низкие содержания ЕРЭ без явно выраженной специализацией пород.

3. Девонские терригенно-карбонатные отложения характеризуются низкими содержаниями ЕРЭ и существенно урановой радиогеохимической специализацией.

4. Плиоценовые отложения, слагающие поверхность высоких цокольных террас отчетливо выделяются радиоактивностью на уровне 8–12 мкР/ч,

торий-калиевой специализацией и характерной формой конуса выноса среди образований Зырянской депрессии.

5. Для кайнозойских образований Зырянской депрессии характерны низкие содержания ЕРЭ и преимущественно ториевая специализация пород.

6. Рассошинский гранит-гранодиорит-диоритовый комплекс отмечается высокоинтенсивными (до 40 мкР/ч) радиоактивными аномалиями. Наиболее крупный массив – Рассошинский имеет преимущественно уран-ториевую специализацию, тогда как для других более мелких гранитных массивов характерна торий-калиевая.

Рассматриваемая площадь, по результатам предыдущих исследователей [5], перспективна на медно-порфировое оруденение. Это послужило основанием сотрудникам Норильского филиала заострить внимание на локализации таких объектов при геологической интерпретации аэрогеофизических данных.

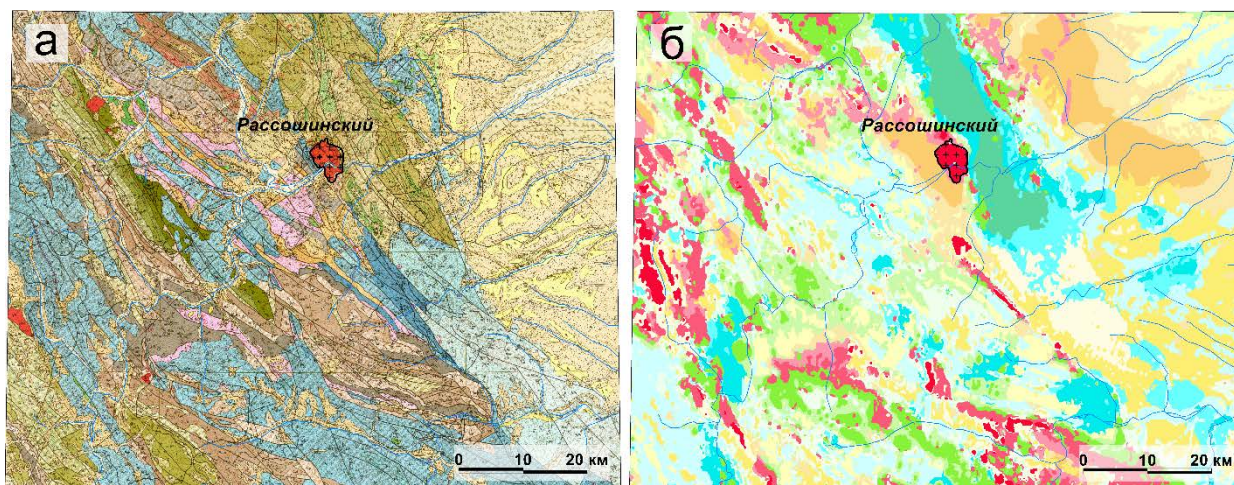


Рис. 2. Сопоставление схемы районирования геофизических полей с ГГК-200/1
а) геологическая карта (ГГК-200/1); б) схема районирования геофизических полей.

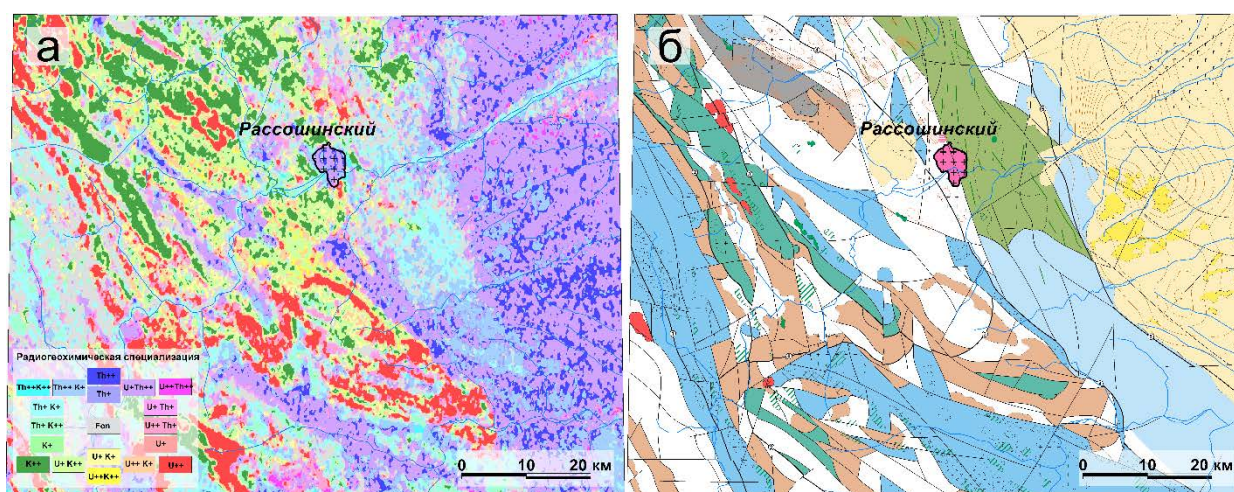


Рис. 3. Результаты комплексной геолого-геофизической интерпретации
а – сводная радиогеохимическая карта (АРК); б – схема комплексной интерпретации.

В предыдущие годы, специалистами этого филиала, в процессе аэрогеофизических съемок в районах размещения известных медно-порфировых месторождений: Быстринское, Колтуминское, Шахтаминское, Бугдаинское (2007, 2008 г.), Ак-Суг (2010 г), Песчанка (2011 г), была фактически установлена прямая пространственная связь между развитием площадных метасоматических изменений и радиогеохимической специализацией пород, отражающаяся в тонкой структуре гамма-спектрометрических полей. Такая связь и легла в основу модели радио-геохимической зональности медно-порфировых систем (Рис. 4), представленной главным геофизиком Норильского филиала Кирплюком П. В. в 2017 г. на научно-практической конференции в Москве, а затем в 2018 г. на 10 международном конгрессе в Красноярске [1, 2, 3]. Она также обсуждалась в 2020, 2021 гг. в стенах ФГБУ «ВСЕГЕИ» на конференциях, посвященных вопросам повышения эффективности аэрогеофизических работ.

Согласно радиогеохимической зональности медно-порфировой системы, в зависимости от эрозионного среза будет проявлена соответствующая ее часть, по которой, при наличии других благоприятных геофизических признаков (локальное понижение гравитационного поля и положительная или отрицательная аномальная структура магнитного поля) можно делать заключение о степени перспективности объекта. Поэтому пространственное совпадение радио-геохимических и магнитных аномалий с локальной отрицательной аномалией поля силы тяжести может указывать на вероятность существования рудно-магматической системы.

В процессе интерпретации аэрогеофизических материалов съемки 2018 г. на Рассошинской площади, в непосредственной близости к северо-западу от Рассошинского интрузива, была выявлена гамма-спектрометрическая аномалия с явным преобладанием калия (Рис. 5-а, б).

По данным геологической карты первого поколения, центральная часть этого интрузива сложена крупно- и среднезернистыми гранитами, участками порфиroidных, переходящих к периферии в более мелкозернистые разновидности. На экзоконтакте отмечаются зоны пиритизации, выявлены шлиховые ореолы меди и свинца.

В геофизических полях интрузив отображается высокоинтенсивной радиогеохимической аномалией до 40 мкР/ч, уран-ториевой специализацией (Рис. 5-а, б, в) и локальными магнитными аномалиями разной интенсивности (Рис. 5-г). Поскольку современный эрозионный срез собственно Рассошинского интрузива характеризуется уран-ториевой радиогеохимической специализацией, то он согласно ранее отмеченной модели, соответствует уровню с молибденитовой минерализацией. При проведении полевых геологических и геохимических работ в 2017–2018 гг., в его пределах действительно были

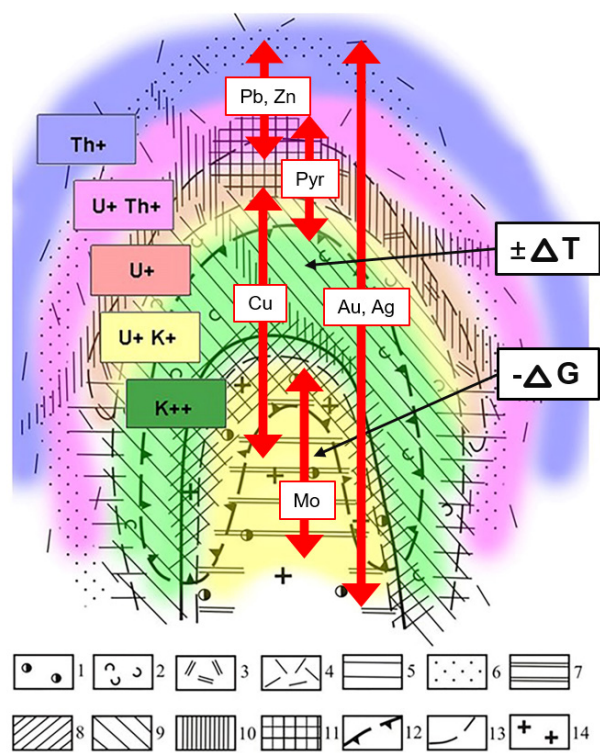


Рис. 4. Модель радиогеохимической зональности медно-порфировой системы

1–4 – гидротермально-метасоматические изменения: 1 – калиево-кремниевые, 2 – окварцевание, хлоритизация, серицитизация, 3 – аргиллизация, 4 – пропилизация; 5–11 – типы руд: 5–6 магнетит-пиритовый, 7 – молибденитовый, 8 – халькопирит-борнитовый, 9 – пирит-халькопиритовый, 10–11 – полисульфидный; 12 – контуры рудных тел, 13 – границы зон метасоматически измененных пород, 14 – рудоносный порфировый интрузив.

обнаружены проявления молибдена с содержанием до 0,2 %, а в экзоконтактовой части массива видимое золото с содержанием до 105 г/т.

В магнитном поле калиевая аномалия совпадает с интенсивной локальной положительной аномалией. Эти аномалии локализуются в области отрицательных значений гравитационного поля северо-западного простирания (рис. 5-д), южная часть которой сопряжена с выходом Рассошинского интрузива на дневную поверхность (рис. 5-е).

Поскольку эпицентр и плановая конфигурация калиевой аномалии совпадает с локальной магнитной аномалией, то это указало о возможном наличии единого аномалеобразующего объекта – нескрытой части Рассошинского гранитоидного интрузива, с сохранившимися контактовыми изменениями в надинтрузивной зоне.

Сочетание выше отмеченных геофизических признаков, характерных для гидротермально-метасоматических объектов, с наличием шлиховых ореолов меди и свинца позволило сделать предположение о вероятном присутствии слабо эродированной гидротермальной рудно-магматической системы

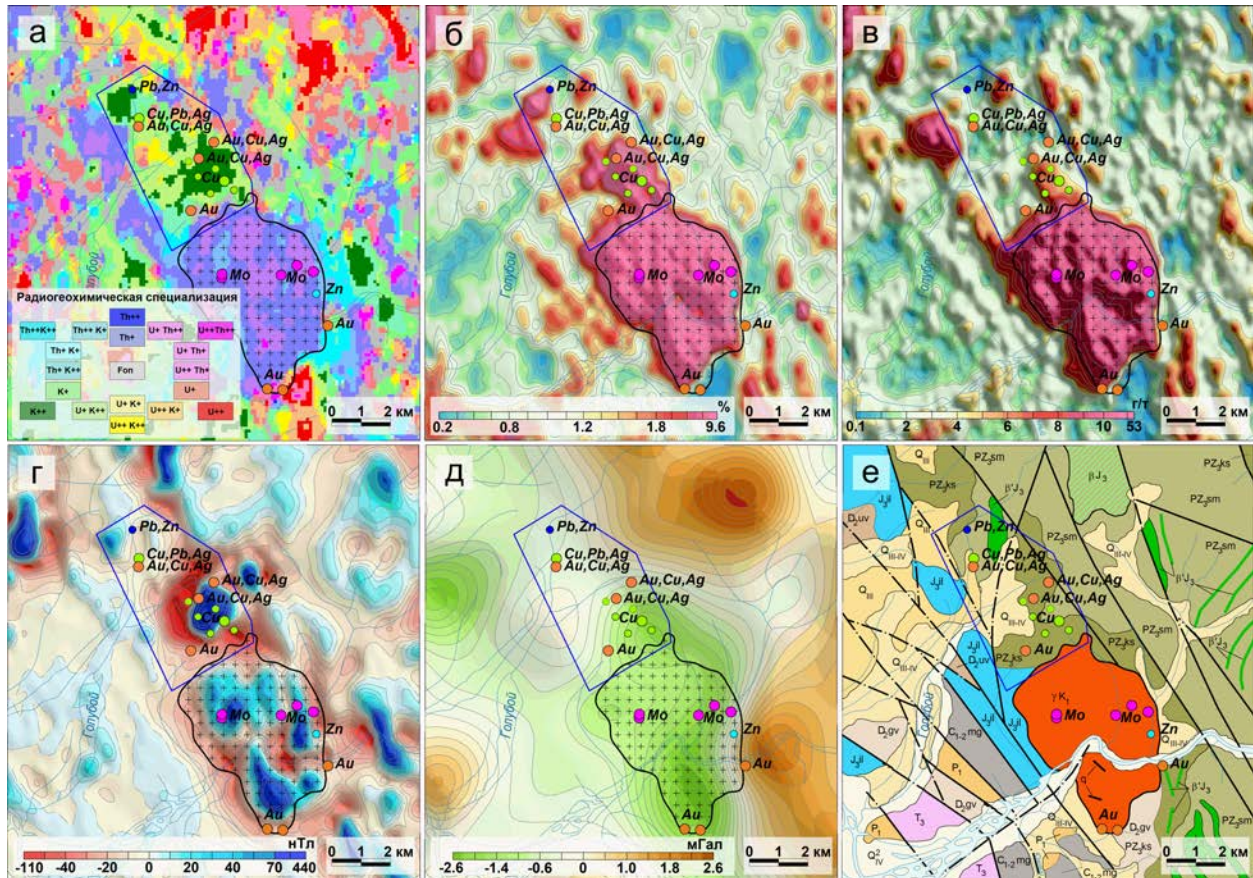


Рис. 5. Положение участка «Рассошинский» в геофизических полях

а) радиогеохимическая зональность; б) содержания калия; в) содержания тория; г) локальная составляющая магнитного поля; д) локальная составляющая поля силы тя-жести; е) геологическое строение.

и наметить здесь участок «Рассошинский» для постановки наземных геолого-геофизических работ с целью его изучения и получения фактов, подтверждающих гипотезу. Участок расположен в пределах северо-западного фланга интрузива на контакте с верхнепалеозойскими вулканогенно-осадочными отложениями толщ.

Таким образом, интерпретация аэрогеофизических материалов на Рассошинской площади, в первую очередь, гамма-спектрометрических, позволила:

- уточнить геологическое строение площади, в том числе разделить по радиогеохимическим данным разновозрастные однотипные вулканогенно-осадочные образования на таксоны согласно легенды к геологической карте масштаба 1 : 200 000;
- уточнить плановое положение Рассошинского интрузива и элементы его внутреннего строения, определить его уран-ториевую специализацию и высказать предположение о уровне эрозионного среза, соответствующего молибдениковой минерализации в медно-порфировой системе;
- выделить перспективный участок на медно-порфировое оруденение.

Дальнейшее изучение выявленного объекта путем проведения наземных геофизических работ

было направлено на уточнение границ аэрогеофизических аномалий, их связи с контактовыми и метасоматическими процессами, проверку обоснованности прогнозных построений, оценку перспективности участка на медное, молибденовое и золотое оруденение. Работы выполнялись в масштабе 1 : 25 000 и включали гамма-спектрометрию, магнитометрию, электроразведку, а также геологические маршруты с отбором штучных проб.

На первом этапе для определения качества полевого материала выполнено сопоставление результатов наземных работ с данными АГСМ-50, которое показало хорошую согласованность распределения естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). Несмотря на существенные методические различия в их получении, коэффициенты корреляции составили: для урана – 0,73; тория – 0,75; и калия – 0,88 и хорошо сопоставляются по абсолютным значениям, что свидетельствует о высоком качестве полевого материала, как воздушного, так и наземного (Рис. 6).

Северо-западная граница Рассошинского массива контрастно отражается в радиогеохимических полях у южной границы участка. Для него характерны высокоинтенсивные аномалии суммарного гамма-излучения и высокие содержания всех трех ЕРЭ (Рис. 7). Наиболее четко границы выходов ком-

плекса фиксируются в полях содержания калия (до 7%) и максимальными содержаниями тория (до $30 \cdot 10^{-4}$ %). По геологическим данным верхняя часть массива разбита на мелкие блоки, которые по тектоническим нарушениям северо-западного простирания выдвинуты в глубь изучаемого участка на различное расстояние относительно друг друга (Рис. 7, б).

Зоны калиевой специализации отражают положение участков максимального проявления гидротермально-метасоматических процессов. При общем совпадении контуров калиевой доминанты в аэро- и наземной съемках, детальность последних значительно выше. Это обеспечивает более компактную локализацию перспективных объектов, что подтверждается полевыми геологическими наблюдениями.

Наиболее крупная зона существенно калиевой специализации выделяется в контуре надинтрузивной части нескрытого гранитного массива. Далее эта зона фрагментарно прослеживается в северо-западном направлении и заканчивается у северо-западной границы площади. Она целиком находится в поле локальной отрицательной аномалии поля силы

тяжести и вероятно является более глубинным продолжением Рассошинского интрузива и отражает плановое положение измененных пород гидротермально-метасоматическими процессами. В южной части эта калиевая аномальная зона совпадает с положительной магнитной аномалией и в целом располагается в зонах повышенной проводимости и поляризуемости.

Присутствие медного и полиметаллического оруденения на изученном участке подтверждается выявленными здесь в ходе заверки 27 пунктами минерализации в коренном залегании. Из наиболее перспективных отобрано 12 штучных проб.

Рудные тела представлены кварцевыми и кварц-карбонатными жилами мощностью до 0,6 м с сульфидной минерализацией до 30%. Рудные минералы в большинстве своем представлены малахитом, азуритом, халькопиритом, борнитом, ковеллином, галенитом и сфалеритом. Установлен пункт минерализации сплошных халькопиритовых руд гнездового типа в кварцевой жиле в сочетании с фрагментом рудного штокверка (кварц-халькопиритовые прожилки в кварците).

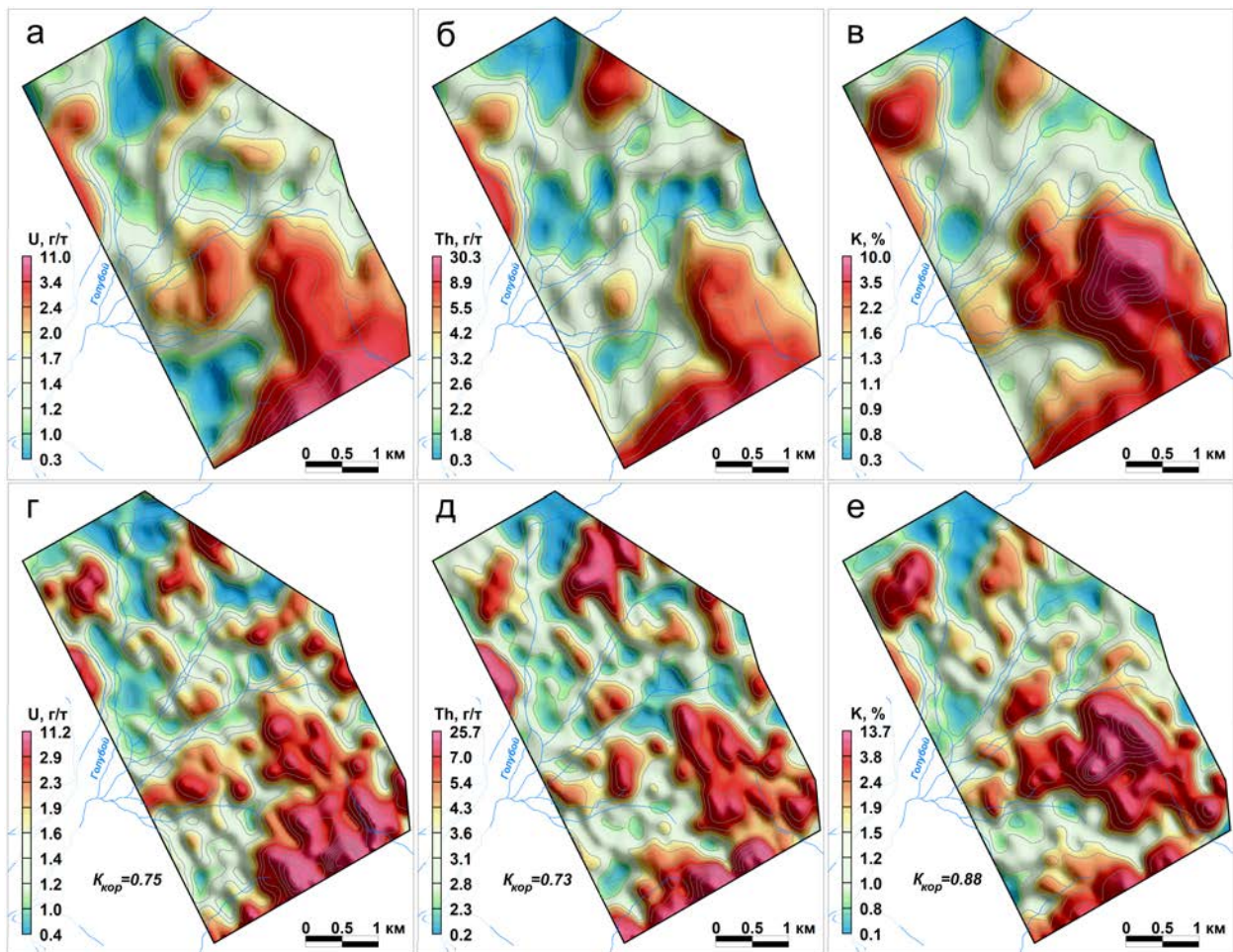


Рис. 6. Сравнение материалов гамма-спектрометрических съемок (уч-к «Рассошинский»)

а, б, в – содержания U, Th, K по данным аэросъемки, масштаб 1 : 50 000 (2018 г.); г, д, е – содержания U, Th, K по данным пешеходной съемки, масштаб 1 : 25 000 (2019 г.).

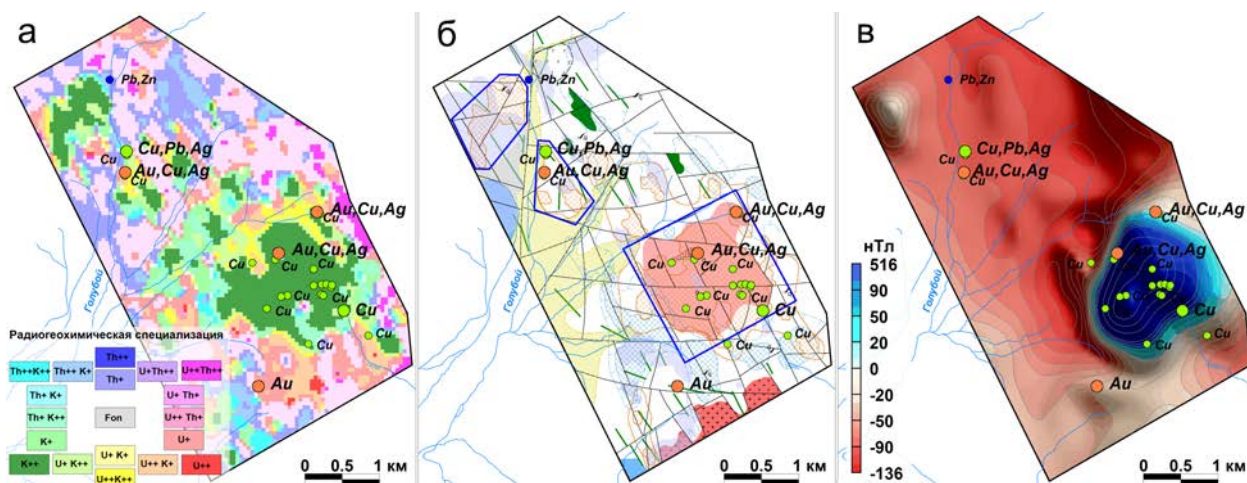


Рис. 7. Результаты геологической интерпретации

а) сводная радиогеохимическая карта; б) схема геологической интерпретации; в) аномальное магнитное поле.

В ходе аналитических исследований штучных проб в лабораториях ФГБУ «ВСЕГЕИ» установлены повышенные содержания золота (до 3,33 г/т), серебра (до 210 г/т), меди (до 33 %), молибдена (до 116 г/т), свинца (до 4,4 %), цинка (до 1,1 %), бария (до 24,67 %).

В результате наземных геолого-геофизических работ, проведенных в пределах «Рассо-шинского» участка зафиксировано наличие золото-медно-полиметаллического оруденения на площади 2,3 кв. км, соответствующего рангу рудного поля. Здесь прогнозируется крупный объект медно-порфиорового типа, представленный надинтрузивной зоной нескрытого гранитного массива рассошинского комплекса с широко проявленными контактово-метасоматическими процессами.

Прогнозируемое рудное поле в плане имеет изометричную форму с диаметром около 1500 метров. По результатам моделирования магнитного

поля в программном модуле PotenQ, Geosoft, верхняя кромка интрузива сильно изрезана, со средней глубиной залегания 100 метров. Вертикальная мощность прогнозируемого оруденения изменяется в пределах 50–250 метров. Выявленные параметры рудного поля позволяют прогнозировать ресурсы меди в 5 млн. тонн, при среднем содержании 1 % и золота – 100 т, при среднем содержании 2 г/т. В пределах этого рудного поля выделен перспективный участок первой очереди. На нем рекомендуется оценочная стадия работ, включающая литохимическое опробование по первичным ореолам, горные работы и поисковое колонковое бурение.

Таким образом, в современных условиях данные гамма-спектрометрической съемки обеспечивают не только эффективное решения задач геологического картирования, но и выходят на ведущее место в прогнозировании и поисках гидротермально-метасоматического оруденения.

Литература

1. Кирплюк П. В. Радиогеохимические признаки медно-порфиорового оруденения / Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов: Тез. докл. VII научно-практической конференции. – Москва, ЦНИГРИ, 2017. – С 22–23.
2. Кирплюк П. В. Радиогеохимические признаки медно-порфиорового оруденения/ Цветные металлы и минералы // Золото Сибири: Тез. докл. 10 международного конгресса. – Красноярск, 2018 – С. 1209–1210.
3. Кривцов А. И. и др. Медно-порфиоровые месторождения. – Москва, ЦНИГРИ, 2001.
4. Лазарев Ф. Д., Кирплюк П. В., Онищенко А. Н. Прогнозирование рудно-магматических систем на основе аэрогеофизических данных при ГДП-200 // Разведка и охрана недр, 2021. – № 4. – С. 26–34.
5. Петров О. В., Киселев Е. А., Шпикерман В. И., Змиевский Ю. П. Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфиорового типа в вулcano-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 // Региональная геология и металлогения, 2019. – № 80. – С. 50–73.
6. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. J.-P. Nicolet, Erdi-Krausz, G., IAEA, Vienna, Austria, 2003. – P. 173.